

## 녹두전분의 리올로지 성질

권순혜·김명희·김성곤  
단국대학교 식품영양학과

### Rheological Properties of Mungbean Starch Soon-Hye Kweon, Myung-Hee Kim and Sung-Kon Kim Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, Seoul

#### Abstract

Effects of concentration (5-8%, db) and heating temperature (80 °C-95 °C) on rheological of mungbean starch were examined. The pasting curve by amylograph revealed no peak viscosity and the viscosity continued to increase during cooking, regardless the starch concentrations. Mungbean starch paste showed a pseudoplastic flow behavior with yield stress. The consistency index of paste increased as the heating temperature was raised at a given concentration. However, flow behavior index showed opposite trend. The percent sag of starch gel stored at 4 °C decreased with the increase of concentration and heating temperature. The firmness of fresh gel prepared from 7 and 8% starch suspensions by heating at 95 °C for 15 min with amylograph was about 2-times higher than that of 6% gel. However, the time constant, reciprocal of rate constant, of starch gels during aging at 4 °C was not significantly influenced by concentrations and heating temperatures.

Key words: mungbean starch, rheology

#### 서 론

녹두(*Phaseolus aureus* L.)는 저단백질 고탄수화물에 속하는 두류로서 녹두묵, 청포묵, 숙주나물 등의 원료로서 이용되고 있다<sup>(1)</sup>. 녹두묵은 전분의 겔형성 특성을 이용한 겔상의 식품으로서, 문 등<sup>(2)</sup>은 녹두가루를 95°C에서 15분간 가열 후 실온에서 3시간 냉각시켜 묵을 제조했을 때 묵의 제조에 있어 적정농도는 8-10%라고 하였다. 그러나 손과 문<sup>(3)</sup>은 관능검사결과 녹두묵의 최적 전분의 농도는 9%이었다고 보고하였다. 한편 박과 김<sup>(4)</sup>은 녹두묵의 제조에는 8% (건량기준)가 적당하다고 하였다.

녹두묵은 texturometer로 텍스처를 측정하였을 때는 점착성을 보이거나<sup>(3,5)</sup> Instron으로는 이 특성이 나타나지 않는다고 보고<sup>(6,7)</sup>되어 있다. Lee<sup>(8,9)</sup>는 가열방법을 달리하여 만든 녹두묵의 텍스처를 texturometer로 조사한 결과 잔점가열법이 직접가열법보다 겔의 견고성을 높이고 부스러지기 쉬운 겔을 형성시킨다고 하였다.

녹두전분은 입자가 작고 아밀로오스 함량이 낮으나, 다른 두류전분과는 달리 A형의 X-선 회절도를 가지며<sup>(10)</sup>, 독특한 아밀로그람을 보인다<sup>(10,11)</sup>. 또한 Naivikul과 D'Appolonia<sup>(12)</sup>는 녹두전분의 물 결합능력은 다른 두류전분보다 작다고 하였다. Mukhtarova와 Levacheva<sup>(13)</sup>는 품종이 다른 녹두전분의 몇 가지 성질을 연구하였고, 김 등<sup>(14)</sup>은 우리나라 녹두전분의 성질에 대하여 보고하였다.

본 연구에서는 녹두묵의 식품학적 연구의 하나로서 녹두전분의 농도와 가열온도에 따른 호화성질, 호화액의 유동특성 및 겔의 노화성질 등을 조사하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

##### 재료

녹두는 껍질이 제거된 것으로서 경동시장에서 구입하였으며, 냉장고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

##### 전분의 분리

녹두를 4°C의 증류수에 1일간 침지시키고 와링블랜더

Corresponding author: Sung-Kon Kim, Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, San 8, Hannam-dong, Yongsan-gu, Seoul, 140-714

로 1분간 분쇄한 다음 20 mesh 체에 내려 얻은 침전물에 가성소다 용액(0.2N)을 가하고 냉장고에서 하룻밤 방치하였다. 이 알칼리 용액의 처리를 5회 반복하고 상정액의 pH가 중성이 될 때까지 증류수로 처리한 다음 저온(10°C)에서 건조시키고 100 mesh 로 분쇄하여 전분시료로 하였다.

**호화성질의 분석**

녹두전분의 호화성질은 Brabender/Visco/Amylograph를 사용하여 Medcalf와 Gilles<sup>(15)</sup>의 방법에 따라 조사하였다. 전분농도는 5, 6, 7 및 8%(건량기준)를 사용하였다. 시료용액 500g을 30°C에서부터 94.5°C까지 가열하고, 이 온도에서 15분간 유지시킨 다음 50°C까지 냉각시켜 아밀로그래프를 얻고 이로부터 점도 특성값을 구하였다. 초기호화온도는 점도가 10 B.U.에 도달하는 시간으로 나타내었다.

**호화액의 리올로지 성질의 측정**

전분액(5, 6, 7 및 8%, 건량기준)을 80, 85, 90 및 95°C의 항온수조에서 40분간 가열하고 즉시 흐르는 수돗물로 냉각시킨 다음 진공펌프로 기포를 제거하였다.

시료액의 유동특성은 브라벤더 점도계(Viscotron, model 802401, 서독 브라벤더 회사)를 사용하여 용기 E<sub>17</sub>, 시료액 8ml, 측정온도 60°C, 회전속도 2-128 rpm의 조건으로 측정하였다.

리올로지 특성값은 다음의 Herschel-Bulkley 식<sup>(16)</sup>으로부터 계산하였다.

$$\tau = KD^n + \tau_y \tag{1}$$

여기에서 K는 점조도 지수(P<sub>a</sub>·S<sup>n</sup>), n은 유동지수, τ<sub>y</sub>는 항복응력(P<sub>a</sub>), τ는 전단응력(P<sub>a</sub>), D는 전단속도(s<sup>-1</sup>)이다.

전단응력과 전단속도는 실험으로부터 구한 토오크와 회전속도로부터 항복응력은 식 (2)의 Casson 식<sup>(17)</sup>으로부터 구하였다.

$$\sqrt{\tau} = K_c\sqrt{D} + \sqrt{\tau_y} \tag{2}$$

**전분 겔의 노화**

전분액(5, 6, 7 및 8%, 건량기준)을 아밀로그래프를 이용하여 80, 85, 90 및 95°C까지 가열하고 각 온도에서 15분간 유지 후 50°C까지 냉각시켰다. 이 액을 일정한 용기에 넣고 실온에서 1시간 냉각시키고 4°C에 저장하였다.

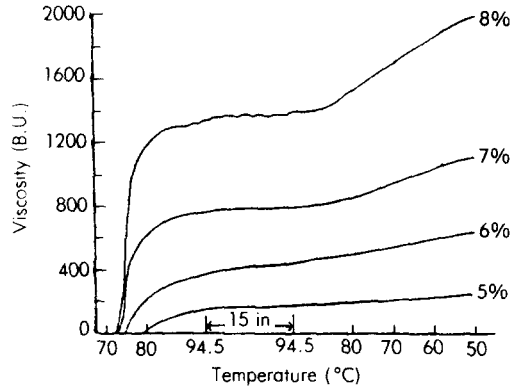


Fig. 1. Amylograms of mungbean starch

저장 중 겔의 수축(sag) 정도는 직경 20 mm인 50 ml 눈금실린더를 사용하여 처음 부피에 대한 겔의 부피변화율(%)로 나타내었다<sup>(2)</sup>.

겔의 노화속도의 분석은 겔을 2°C에서 저장하면서 1, 2, 3 및 4일째의 겔의 경도를 Struct-o-Graph(서독 브라벤더회사)를 사용하여 측정하였다. 측정조건은 cartridge 500cmg, 시료높이 1cm, clearane 1 mm, plunger는 flexiglass tooth-type 이었다.

겔의 노화속도는 다음의 Avrami 식<sup>(18-20)</sup>으로부터 계산하였다.

$$\log[-\ln(E_L - E_t)/(E_L - E_0)] = \log k + n \log t \tag{3}$$

여기에서 E<sub>0</sub>와 E<sub>t</sub>는 각각 저장시간 0와 T에서의 경도, E<sub>L</sub>는 최대경도이다. 또한 k는 노화속도상수(day<sup>-1</sup>), n은 Avrami 지수이다.

본 실험에서는 E<sub>0</sub>와 E<sub>L</sub>는 각각 4°C에서 1시간과 10일간 저장된 겔로부터 얻었다.

**결과 및 고찰**

**아밀로그래프에 의한 호화성질**

녹두전분의 아밀로그래프는 그림 1과 같고 그 결과는 표 1과 같다. 초기 호화온도는 농도가 증가할 수록 감

Table 1. Amylograph data of mungbean starch

Concentration (%)	Initial pasting temperature (°C)	Viscosity at 94.5°C (B.U.)	15-min height (B.U.)	Viscosity at 50°C (B.U.)
5	78.0	130	170	240
6	75.0	370	440	630
7	73.0	760	780	1110
8	72.7	1330	1390	2000

소하였다. 김 등<sup>(14)</sup>은 녹두전분의 초기 호화온도는 6%에서 70.0°C, 7%에서 68.5°C, 8%에서 67.0°C이었다고 하였다. Kawamura<sup>(10)</sup>는 6% 녹두전분의 초기 호화온도는 75.5°C 정도라고 보고하였다. 전분농도의 증가에 따라 초기 호화온도가 감소되는 것은 모든 전분에서 일어나는 현상이다<sup>(21)</sup>.

전분의 농도에 관계없이 최고점도를 보이지 않았다(그림 1). 따라서 본 실험에서는 94.5°C에서의 점도를 최고점도로 가정하였다(표 1). 또한 녹두전분의 아밀로그람 점도는 94.5°C에서 15분간 유지하는 동안에도 증가하는 경향을 보였다(표 1). 이러한 녹두전분의 특징은 김 등<sup>(14)</sup>, Schoch와 Maywald<sup>(11)</sup>, Naivikul과 D'Appolonia<sup>(12)</sup>, Kawamura<sup>(10)</sup> 등의 보고와 같은 것이었다.

아밀로그람의 점도는 전분입자의 팽윤정도와 팽윤된 전분입자의 열과 전단에 대한 저항도<sup>(22)</sup>, 가열 중 입자로부터 용출된 가용성 전분의 존재<sup>(23,24)</sup>, 팽윤된 입자끼리의 상호작용 또는 응집성<sup>(25)</sup> 등에 의하여 좌우된다. Schoch와 Maywald<sup>(11)</sup>는 전분의 아밀로그래프의 호화정도에 따라 4가지로 구분했을 때, 녹두전분은 7% 이하에서는 C형(최고점도를 보이지 않으며 cooking 중 계속 높은 점도를 유지)을, 8%에서는 곡류전분과 비슷한 B형을 보인다고 하였다. 그러나 본 실험결과(그림 1)는 농도에 관계없이 모두 C형을 보였다. 김 등<sup>(14)</sup>도 녹두전분의 아밀로그래프는 6, 7 및 8%에서 모두 C형을 보인다고 보고하였다.

Kawamura<sup>(10)</sup>는 녹두전분의 호화점도는 전분입자의 크기와 아밀로오스 함량에도 크게 영향을 받는다고 하였다.

녹두전분의 농도와 최고점도와의 그림 2와 같이 직선 관계를 보였다. 이러한 관계는 다른 전분에서도 보고된 바 있다<sup>(26-29)</sup>.

**호화액의 유동성질**

전단속도에 따른 전분호화액의 전단응력의 변화는 농도에 관계없이 비직선적인 관계를 보여(그림 3) 항복응력을 가진 비뉴우튼 유체의 성질을 보였다. 비직선적인 관계는 전분의 농도가 증가할 수록 또한 가열온도가 높아질 수록 강해졌다.

호화액의 유동 특성값은 표 2와 같다. 점조도지수와 항복응력은 모든 농도에서 가열온도가 높아질 수록 증가하였고, 일정한 가열온도에서는 농도가 증가할 수록 증가하였다. 이러한 결과는 녹두전분은 가열온도에 따라 호화액의 리올로지적 성질이 크게 달라진다는 것을

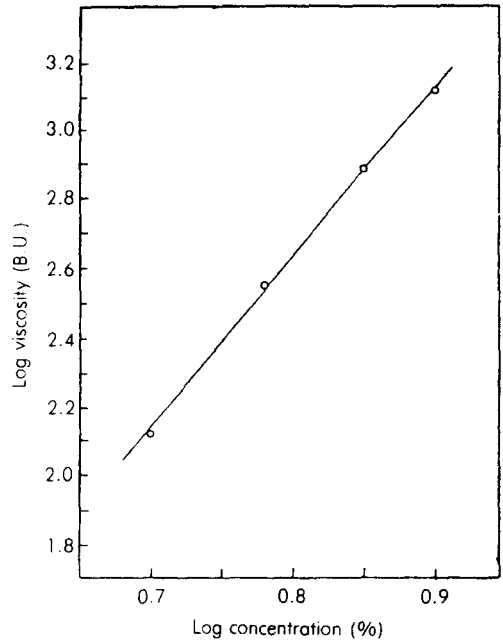


Fig. 2. Relationship between log viscosity and log concentration of mungbean starch

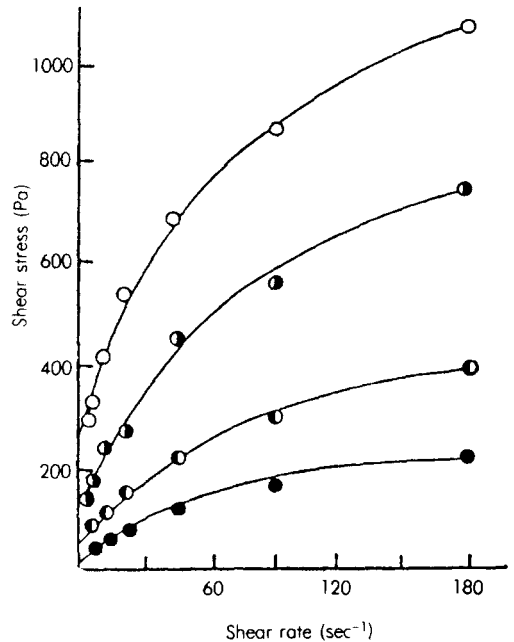


Fig. 3. Flow curves of mungbean starch solutions measured at 60°C after cooking at 90°C for 40 min  
●●, 5%; ○●, 6%; ◐●, 7%; ○○, 8%.

가리킨다. 한편 유동지수는 1보다 작아 녹두전분 호화액은 항복응력을 갖는 의사소성 유체의 성질을 보였다.

유동지수는 일정한 가열온도에서는 농도의 증가에 따라 감소하였다(표 2). 이러한 결과는 가열온도가 높을 수록 또한 농도가 높을 수록 의가소성이 증가된다는 것을 가리킨다.

Table 2. Rheological parameter for various concentrations of mungbean starch gelatinized at various heating temperatures at measured at 60°C

Concentration (%)	Temperature (°C)	Yield stress (Pa)	Consistency index (Pa·S <sup>n</sup> )	Flow behavior index
5	80	1.14	2.34	0.72
	85	3.12	2.48	0.65
	90	3.92	2.96	0.64
	95	7.14	4.03	0.60
6	80	7.66	4.03	0.63
	85	11.33	5.27	0.61
	90	12.19	6.04	0.60
	95	13.99	6.38	0.60
7	80	17.90	7.58	0.60
	85	21.05	9.35	0.60
	90	29.16	11.79	0.58
	95	51.90	12.57	0.57
8	80	32.59	13.85	0.60
	85	59.18	17.19	0.56
	90	66.93	18.71	0.55
	95	68.93	19.90	0.54

Table 3. Changes in percent sag of mungbean starch gels during storage at 4°C

Concentration (%)	Heating temperature (°C)	Storage time (day)			
		1	2	3	7
5	80	12.0	18.4	19.8	20.6
	85	10.2	17.0	18.6	19.6
	90	2.8	14.0	16.4	18.4
	95	1.0	5.6	14.0	17.0
6	80	6.2	14.6	16.0	18.0
	85	5.6	12.0	14.0	17.4
	90	2.0	11.2	12.4	16.8
	95	0.6	2.8	10.0	16.0
7	80	4.0	8.8	12.0	14.0
	85	2.0	7.6	10.0	13.0
	90	1.6	4.0	5.6	12.0
	95	0.0	1.0	4.6	11.2
8	80	2.8	8.4	11.4	13.6
	85	0.8	6.8	9.6	11.6
	90	0.0	2.8	5.0	10.0
	95	0.0	0.2	3.8	9.0

전분 겔의 노화

전분 겔의 저장 중 수축정도의 변화는 표 3과 같다. 수축정도는 모든 농도에서 저장기간에 따라 증가하였고, 동일한 저장시간에서는 가열온도가 높을 수록 감소하였다. 또한 동일한 가열온도에서는 농도가 높을 수록 수축정도는 낮았다. 농도 7%의 경우 95°C에서 가열한 겔은 저장 1일째에는 수축이 일어나지 않았고, 농도 8%의 경우에는 90°와 95°C에서 가열한 겔도 저장 1일째에는 수축이 일어나지 않았지만 저장 2일째부터 수축 현상을 보였다.

문 등(2)은 농도 8, 9 및 10%인 녹두묵의 sag의 백분율은 농도가 높을 수록 낮다고 하였다. Takahashi 등(30)은 5% 녹두전분 겔의 syneresis는 저장 7일째에 중량의 30.3%로서 감자, 옥수수, sago 전분 겔보다 높은 값을 보인다고 하였다.

전분현탁액(6, 7 및 8%)을 아밀로그래프로 95°C에서 15분간 가열 후 냉각시켜 만든 겔의 저장 중 경도의 변화는 그림 4와 같다. 겔의 경도는 저장기간에 따라 증가하였으며 그 증가폭은 농도에 관계없이 비슷하였다. 그러나 농도 7과 8%의 겔의 초기경도는 6% 겔보다 2배 이상 높았다.

그림 4의 결과를 식 (3)을 이용하여 분석한 결과는 표 4와 같다. Avrami 지수(n)는 전분의 농도와 가열

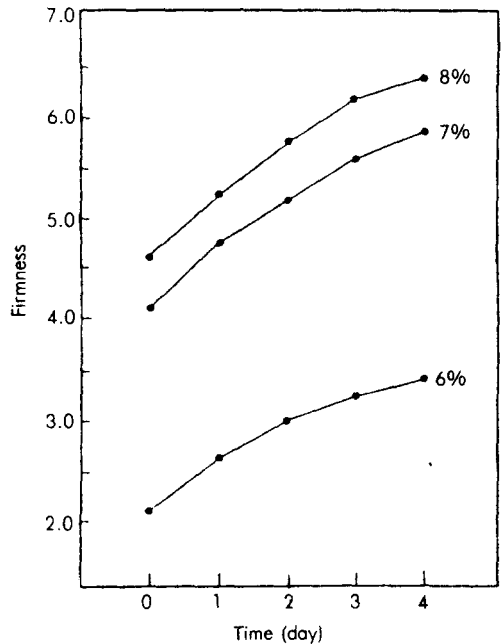


Fig. 4. Changes in firmness of mungbean starch gels during storage at 4°C

Table 4. Avrami exponent(n) and time constant of mungbean starch gels stored at 4°C

Concentration (%)	Heating temperature (°C)	Avrami exponent (n)	Time constant (day)
6	80	0.97	1.90
	85	0.96	2.18
	90	1.04	2.50
	95	0.99	2.50
7	80	0.99	2.53
	85	0.96	2.68
	90	1.03	2.52
	95	0.97	2.74
8	80	1.04	2.19
	85	1.07	2.34
	90	1.09	2.32
	95	1.05	2.43

온도에 관계없이 0.96-1.07으로서 실험오차 내에서 unity(즉 n=1)로 볼 수 있다. Avrami 지수(n=1)는 전분결정화의 기작이 순간적인 핵 형성에 이어 막대기 모양의 결정의 성상이라는 것을 가리킨다<sup>(31)</sup>. 겔의 시간상수를 보면 농도 6%에서는 가열온도가 낮은 경우가 노화속도가 빨랐으나, 농도 7과 8%의 경우에는 가열 온도에 따른 차이가 크지 않았다. 그러나 농도 7%의 경우 시간상수는 농도 6과 8%보다 약간 큰 값을 보여, 노화속도가 가장 느렸다. 김 등<sup>(14)</sup>은 녹두전분 겔(전량 기준 40% 농도)의 시간상수는 21°C에서 1.99일 이었다고 하였다.

## 요 약

녹두전분의 농도(5-8%, 전량기준)와 가열온도(80-95°C)가 전분의 리올로지에 미치는 영향을 조사하였다. 녹두전분은 농도에 관계없이 아밀로그래프의 최고 점도를 보이지 않았고 가열 중 점도는 계속 증가하였다. 전분호화액은 항복응력을 가진 의가소성 유체의 성질을 보였고, 점조도지수는 농도와 가열온도가 증가할수록 증가하였으나, 유동지수는 반대로 감소하였다. 전분 겔을 4°C에 저장하는 동안 겔의 수축정도는 농도와 가열온도가 증가할수록 감소하였다. 아밀로그래프를 이용하여 95°C에서 15분간 호화시켜 만든 농도 7과 8%의 겔의 초기경도는 6% 겔보다 2배 이상 높았으나, 4°C에서의 노화속도는 농도와 가열온도에 크게 영향을 받지 않았다.

## 문 헌

1. 조재선: 식품재료학, 기전연구사, p. 189(1981)
2. 문수재, 손경희, 박혜원: 목의 식품과학적 연구. 제1보 목재료의 물리·화학적 성질을 중심으로. 대한가정학회지, 15(4), 31(1977)
3. 손경희, 문재수: Gel 상 식품에 관한 실험조리적 검토- 각종 전분의 교질성을 이용한 식품. 연세논총, 15, 191(1978)
4. 박옥진, 김광옥: 옥수수 전분과 Hydrocolloids 첨가가 녹두전분 및 목의 특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 20, 618(1988)
5. 이영화, 이관영, 이서래: Texturometer에 의한 성상별 식품군의 texture 특성. 한국식품과학회지, 6, 42(1974)
6. 손경희, 배광순: 각종 전분 gel의 구조 및 질감특성에 관한 연구. 연세논총, 22, 319(1985)
7. 배광순, 손경희, 문수재: 목의 구조와 텍스처. 한국식품과학회지, 16, 185(1984)
8. Lee, C.S.: Studies on the cooking quality of mungbean starch(Part 1). *Science of Cookery*(Japan), 14(2), 49(1981)
9. Lee, C.S.: Studies on the cooking quality of mungbean starch(Part 2). *Science of Cookery*(Japan), 14(2), 56(1981)
10. Kawamura, S.: Starches of edible legume seeds. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, 17(1), 19(1969)
11. Scoch, T.J. and Maywald, E.C.: Preparation and properties of various legume starches. *Cereal Chem.*, 45, 564(1968)
12. Naivikul, O. and D'Appolonia, B.L.: Carbohydrates of legume flours compared with wheat flour. II. Starch. *Cereal Chem.*, 56, 24(1979)
13. Mukhtarova, M.R. and Lovacheva, G.N.: Properties of starch from legume seeds. *Prikl. Biokhim. Mikrobiol.*, 8, 978(1972)
14. 김원수, 이혜수, 김성근: 각종 전분으로 만든 교질상 식품의 특성에 관한 연구. -녹두전분의 이화학적 특성-. 한국농화학회지, 23, 166(1980)
15. Medcalf, D.G. and Gilles, K.A.: Effect of a lyotropic ion series on the pasting characteristics of wheat and corn starch. *Stärke*, 18, 101(1968)
16. Sherman, P.: *Industrial Rheology*, Academic Press, New York(1970)
17. Casson, N.: A flow equation for pigment oil suspen-

- sions of printing ink type. In *Rheology of Dispersed Systems*, Min, C.C.(ed.), Pergamon Press, Oxford, p. 84(1958)
18. Avrami, M.: Kinetics of phase change I. *J. Phys. Chem.*, 7, 1103(1939)
  19. Avrami, M.: Kinetics of phase change II. *J. Phys. Chem.*, 8, 212(1940)
  20. Avrami, M.: Kinetics of phase change III. *J. Phys. Chem.*, 9, 177(1941)
  21. Sandstedt, R.M. and Abbot, R.C.: A comparison of methods for studying the course of starch gelatinization. *Cereal Sci. Today*, 9, 13(1964)
  22. Lineback, D.R. and Ke, C.H.: Starches and low-molecular-weight carbohydrates from chick pea and horse bean flours. *Cereal Chem.*, 52, 334(1975)
  23. Allen, G.E., Hood, L.F. and Chabot, G.F.: Effect of heating on the freezeetch ultrastructure of hydroxypropyl distarch phosphate and unmodified tapioca starches. *Cereal Chem.*, 54, 783(1977)
  24. Miller, B.S., Derby, R.I. and Trimbo, H.B.: A pictorial explanation for the increase in viscosity of a heated wheat starch-water suspension. *Cereal Chem.*, 50, 271(1973)
  25. Leach, H.W.: Gelatinization of starch. In *Starch Chemistry and Technology*, Whistler, R.L. and Paschall, E.F.(ed.), Academic Press, New York, Vol.I, p. 289(1965)
  26. Anker, C.A. and Geddes, W.F.: Gelatinization studies upon wheat and other starches with the amylograph. *Cereal Chem.*, 21, 335(1944)
  27. Pagenstedt, B.: Stärke Technologische Studie mit dem Viscographen. *Stärke*, 3, 202(1951)
  28. Rasper, V.: Inverstigations on starches from some major starch crops grown in Ghana. I. Hot paste viscosity and gel-forming power. *J. Sci. Food Agric.*, 20, 165(1969)
  29. Kim, K., Yoon, H.K. and Kim, S.K.: Physico-chemical properties of arrowroot starch. *J. Korean Agric. Chem. Soc.*, 27, 574(1984)
  30. Takahaski, S., Kitahava, H. and Kainuma, K.: Properties and cooking quality of starches. Part I. Chemical and physical properties of starches from mungbean and sago. *J. Jap. Soc. Starch Sci.*, 28, 151(1981)
  31. Sharples, A.: *Introduction to Polymer Crystallization*. Edward Arnold Ltd., London, p.50(1966)

---

(1989년 9월 28일 접수)